



Eficacia de un sustituto de calostro sobre la transferencia de inmunidad pasiva en terneras¹

Efficacy of a colostrum substitute on passive immunity transfer in calves

Jorge Alberto Elizondo-Salazar², Luis Rodolfo Zumbado-Alpizar³

¹ Recepción: 25 de marzo, 2020. Aceptación: 3 de agosto, 2020. Este trabajo formó parte del proyecto de investigación inscrito en la Vicerrectoría de Investigación, No. 737-B4-222. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

² Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Cartago, Costa Rica. jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-2603-9635>).

³ Zinpro Animal Nutrition. San José, Costa Rica. rzumbado@zinpro.com (<https://orcid.org/0000-0002-0400-8953>).

Resumen

Introducción. Los sustitutos de calostro han aumentado su popularidad en Costa Rica como una alternativa al calostro de mala calidad, reservas limitadas, o para romper el ciclo de transmisión de ciertas enfermedades infecciosas. Sin embargo, es importante asegurarse de que estos productos sean efectivos y capaces de proporcionar concentraciones séricas de IgG adecuadas. **Objetivo.** Evaluar la eficacia de un sustituto del calostro versus el calostro materno en terneras de lechería. **Materiales y métodos.** El experimento se llevó a cabo durante el primer semestre del 2019 en sesenta terneras Jersey (veinte terneras por tratamiento) que fueron asignadas aleatoriamente a uno de tres tratamientos que consistieron en suplementar a las terneras con: 3 l de calostro materno (tratamiento 1), 335 g de sustituto de calostro que contenía 150 g de IgG (tratamiento 2) y 2 l de calostro materno + 110 g de suplemento de calostro que contenía 55 g de IgG (tratamiento 3). Se recogieron muestras de sangre de todas las terneras 48 h después de la administración del calostro y se analizaron las concentraciones de proteína sérica total e IgG. **Resultados.** Las terneras alimentadas con calostro materno y con calostro materno + suplemento de calostro tuvieron concentraciones más altas de proteína sérica total ($p < 0,05$) y concentraciones de IgG en comparación con las terneras alimentadas con el sustituto de calostro; sin embargo, las terneras que recibieron el sustituto de calostro lograron obtener una transferencia adecuada de inmunidad pasiva (>10 g de IgG) y tuvieron una mayor eficiencia aparente de absorción. No hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) con respecto a los parámetros de crecimiento y el estado de salud de las terneras. **Conclusiones.** El reemplazador de calostro evaluado proporcionó una adecuada concentración de IgG en las terneras evaluadas y se podría utilizar como una alternativa cuando no se cuenta con calostro materno.

Palabras clave: cría de ganado, refractometría, inmunoensayos, inmunoglobulinas.

Abstract

Introduction. Colostrum substitutes have increased in popularity in Costa Rica as an alternative to poor quality colostrum, limited colostrum reserves, or to break the cycle of transmission of certain infectious diseases. However, it is important to make sure that these products are effective and capable of providing adequate serum



IgG concentration. **Objective.** To evaluate the efficacy of a colostrum substitute versus maternal colostrum in dairy heifer calves. **Materials and methods.** The experiment was carried out during the first semester of 2019 in sixty Jersey calves (twenty calves per treatment) that were randomly assigned to 1 of 3 treatment groups that consisted of supplementing the calves with: 3 l of maternal colostrum (group 1), 335 g of a colostrum replacer product containing 150 g of IgG (group 2), and 2 l of maternal colostrum + 110 g of colostrum supplement containing 55 g of IgG (group 3). Blood samples from all calves were collected 48 h after colostrum administration and analyzed for total serum protein and IgG concentration. **Results.** Calves fed maternal colostrum and maternal colostrum + colostrum supplement had significantly higher ($p < 0.05$) total serum protein and IgG concentration compared to calves fed the colostrum substitute product; however, calves that received the colostrum replacer achieved an adequate passive transfer of immunity (> 10 g of IgG) and had a higher apparent efficiency of absorption. There were no significant differences ($p > 0.05$) on calf growth parameters and health status of the calves. **Conclusions.** The evaluated colostrum replacer product provided an adequate IgG concentration in the assessed Jersey heifer calves and could be used as an alternative when there is no maternal colostrum.

Keywords: calf rearing, refractometry, immunoassays, immunoglobulins.

Introducción

Las terneras nacen con una concentración de inmunoglobulinas (Igs) muy baja o nula (Elizondo-Salazar & Heinrichs, 2009), por lo que estas deben ser proveídas a través del calostro materno en una cantidad apropiada y de manera oportuna para asegurar una adecuada transferencia de inmunidad pasiva (TIP) (LeBlanc et al., 2006). Las recomendaciones actuales proponen alimentar de tres a cuatro litros de calostro de buena calidad (> 50 g de Igs l^{-1}) en las primeras ocho horas de vida para alcanzar una adecuada TIP (> 10 g de Igs l^{-1} de suero sanguíneo) (Godden, 2008; McGuirk y Collins, 2004). Se ha establecido también que las terneras presentan una falla en la TIP cuando la concentración de proteína sérica total (PST) es menor a $5,2$ g dl^{-1} (Donovan et al., 1998).

Una falla en la TIP se ha correlacionado con una mayor incidencia de enfermedades, mayor mortalidad, mayor edad para alcanzar el peso a servicio y un potencial menor producción de leche durante la primera lactancia (DeNise et al., 1989; Furman-Fratczak et al., 2011; Aly et al., 2013).

En muchas explotaciones ganaderas, el almacenar calostro de buena calidad provee una reserva en caso de que las vacas no puedan producir una adecuada cantidad de este fluido, debido a mastitis, muerte o algunas otras causas, por lo que se convierte en un componente esencial de las estrategias para la erradicación de enfermedades como la leucosis. Sin embargo, en muchas fincas la producción de calostro de alta calidad y libre de enfermedades es muy limitado, por lo que el uso de sustitutos se convierte en una opción muy viable para asegurar una adecuada TIP en las terneras.

Investigaciones que han evaluado la eficacia de sustitutos de calostro comercial para prevenir la falla en la TIP en reemplazos de lechería han producido resultados muy variables. Algunos estudios han reportado que alimentar un paquete de sustituto de calostro comercial es adecuado (Lago et al., 2018; Pithua et al., 2013; Priestley et al., 2013), mientras que otros productos han fallado en alcanzar una concentración media de $10,0$ g l^{-1} de Igs en el suero sanguíneo de terneras (Fidler et al., 2011; Godden et al., 2009), todo debido, principalmente, a la dosis de IgG ofrecida, la fuente de IgG y presencia de aditivos.

Con respecto al estado de salud de los animales, hay estudios que reportan una asociación entre la concentración sérica de IgG y la incidencia de enfermedades. Se ha visto una menor incidencia de diarreas cuando se alimentó un sustituto de calostro (Aly et al., 2013); sin embargo, Priestley et al. (2013) indicaron que alimentar con sustituto de calostro resultó en una morbilidad mayor.

Algunos investigadores han reportado también que el riesgo de infecciones de *Mycobacterium avium* ssp. Paratuberculosis se redujo en casi 50 % cuando se utilizó sustituto de calostro proveniente de plasma sanguíneo, comparado con calostro materno (Pithua et al., 2009).

En un estudio realizado en los Estados Unidos, un número significativamente mayor de terneras alimentadas con calostro materno (70 %) presentaron una falla en la transferencia de inmunidad pasiva en comparación con terneras que recibieron sustituto de calostro (11 %) (Pithua et al., 2013). En otros estudios terneras que recibieron calostro materno fueron más propensas a ser tratadas con antibióticos o experimentaron mayores episodios de diarrea comparado con animales que recibieron sustituto de calostro (Aly et al., 2013) y esto se debe principalmente a que patógenos específicos como *Salmonella* sp., *Escherichia coli*, *Mycoplasma* sp, entre otros, frecuentemente se encuentran en el calostro de vacas recién paridas o intermitentemente durante el periodo del parto (Godden et al., 2012).

La venta de sustitutos comerciales de calostro en Costa Rica inició hace alrededor de dos años y no hay investigaciones que hayan evaluado su eficacia, por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar la eficacia de un sustituto del calostro versus el calostro materno en terneras de lechería.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en una lechería comercial ubicada en la provincia de Cartago, en el primer semestre del 2019. La finca se ubica a 2200 msnm y presenta una temperatura media anual de 15 °C y una precipitación de 2370 mm respectivamente (Instituto Meteorológico Nacional, 2019).

Durante el último trimestre del año 2018, se recolectaron 120 l de calostro de primer ordeño (concentración de Igs ≥ 50 g l⁻¹ determinados con un calostrómetro) de vacas Jersey primíparas y multíparas que se depositaron en recipientes plásticos de 2 l y se almacenaron a 0 °C, para ser utilizados en el 2019. El calostro se descongeló a 4 °C y se mezcló para crear un lote uniforme. Luego de determinar la concentración final de Igs con un calostrómetro (Biogenics, USA), se envasó en recipientes de dos litros debidamente identificados y se almacenó a una temperatura de 0 °C, hasta que se requirió para la alimentación.

Los tratamientos utilizados fueron: a) tres litros de calostro materno (para un total de 225 g de IgG) b) 335 g de sustituto de calostro comercial (150 g de IgG) y c) dos litros de calostro materno con la adición de 110 g de un suplemento de calostro comercial (para un total de 205 g de IgG).

Se utilizaron sesenta terneras de la raza Jersey (veinte por tratamiento). Cada ternera fue separada de su madre 30 min después del nacimiento sin haber sido amamantadas y se les asignó aleatoriamente el tratamiento en las primeras dos horas de nacidas, el cual se suministró con un alimentador esofágico (Rhinehart Development Corp., USA).

Los animales se pesaron al nacimiento antes de suministrar los tratamientos y esta medida se utilizó para determinar la eficiencia aparente de absorción (EAA), que se calculó como los gramos de IgG absorbidos en la circulación sanguínea (estimando el volumen de plasma en 9 % del peso al nacimiento), dividido entre los gramos de IgG consumidos, de acuerdo a la siguiente fórmula: $EAA (\%) = (\text{IgG en suero (g)} / \text{consumo de IgG (g)}) \times 100$ (Quigley & Drewry, 1998).

A partir del segundo día de vida y hasta el destete, se ofreció leche íntegra a razón de cuatro litros diarios (2 l en la mañana y 2 l en la tarde). A partir del tercer día de vida se les comenzó a ofrecer alimento balanceado, mismo que se ofreció en un inicio a razón de 20 g por día, estimulando a los animales a que lo consumieran y, conforme aumentó el consumo, se incrementó la oferta con base en una cantidad superior a la que el animal pudiera consumir, es decir con disponibilidad *ad libitum*.

Transcurridas 48 h posalimentación del tratamiento respectivo, se procedió a tomar una muestra de sangre de las terneras, mediante el método de venopunción yugular, en tubos de 10 ml sin anticoagulante (tapa roja) (Trotz-Williams et al., 2008). Las muestras de sangre se almacenaron a una temperatura de 4 °C por un período no

mayor a 24 h. Una vez que se cumplió ese tiempo, se centrifugó cada una de las muestras a 3000 rpm durante 15 min (Johnson et al., 2007). Una vez centrifugadas, se tomaron dos gotas del líquido sobrenadante del tubo (suero sanguíneo) y se procedió a realizar la lectura de la concentración de la PST (g dl^{-1} de suero sanguíneo), por medio de un refractómetro de mano (Atago Master-SUR/N α , Bellevue, Washington, USA). También se determinó la concentración de IgG con un kit de inmunodifusión radial (Triple J Farms-Kent Laboratories, USA).

Para evaluar el desarrollo de las terneras, se llevó un registro de crecimiento desde la semana uno hasta la ocho. Semanalmente se pesaron los animales y se realizaron mediciones de altura a la cruz, altura a la cadera y circunferencia torácica. Las mediciones se llevaron a cabo el mismo día de la semana y a la misma hora para evitar irregularidades y disminuir el error experimental (Khan et al., 2007). Con base en la diferencia de peso semanal, se determinó la ganancia diaria de peso de los animales a partir de la segunda semana de edad.

Con el fin de documentar la incidencia de enfermedades de los animales, se llevó un registro diario en el que se anotaron los diferentes signos de decaimiento, disminución o falta de apetito, consistencia fecal anormal, tos, aumento en la tasa de respiración, descargas nasales y cualquier otra anomalía. Toda ternera que presentó uno o más de dichos síntomas, se examinó detenidamente, se le tomó la temperatura y se evaluó su estado de hidratación. Se llevó un registro de los tratamientos administrados y de los días de duración.

Todos los datos se analizaron con el procedimiento MIXED de SAS, en donde la ternera se consideró como el factor aleatorio y el peso al nacimiento se tomó como covariable. La comparación entre medias se realizó mediante la prueba de Tukey en aquellas variables que resultaron significativas ($p < 0,05$).

Resultados

Calidad del calostro

Se recolectaron y se almacenaron en recipientes plásticos 120 l de calostro de primer ordeño que una vez mezclados uniformemente presentaron una concentración de IgG de 75 g l^{-1} .

Efecto del tratamiento sobre la concentración de proteína sérica total (PST), inmunoglobulinas G (IgG) y eficiencia aparente de absorción de IgG

La concentración de PST e IgG determinadas en el suero sanguíneo de las terneras utilizadas en el experimento y la eficiencia aparente de absorción se presentan en el Cuadro 1. La concentración de PST varió entre 2,0 y 10,0 g dl^{-1} , con un promedio general de $5,8 \pm 0,3 \text{ g dl}^{-1}$.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para la concentración de PST. Los valores promedio fueron 6,2; 5,2 y 6,1 g dl^{-1} para las terneras que consumieron calostro materno, sustituto de calostro y calostro materno + suplemento, respectivamente.

La concentración de IgG varió significativamente ($p < 0,05$) entre tratamientos entre 18,8 y 25,7 g l^{-1} . La eficiencia aparente de absorción (EAA) presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos y varió entre 24,2 y 27,5 %.

Parámetros de crecimiento

Peso de los animales

El peso promedio semanal de los animales para cada grupo de tratamiento desde el nacimiento hasta la semana ocho de edad se muestran en el Cuadro 2. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los pesos al

Cuadro 1. Concentración de proteína sérica total (PST), inmunoglobulinas G (IgG) en suero sanguíneo y eficiencia aparente de absorción (EAA) en veinte terneras de la raza Jersey utilizadas en cada tratamiento. Cartago, Costa Rica. 2019.

Table 1. Concentration of total serum protein (TSP), immunoglobulins G (IgG) in blood serum, and apparent efficiency of absorption (AEA) in twenty Jersey heifer calves used in each treatment. Cartago, Costa Rica. 2019.

Tratamiento	IgG, g l ⁻¹	PST, g dl ⁻¹	EAA, %
Calostro materno (225 g de IgG)	25,7±0,5 a	6,2±0,3 a	24,2±0,4 b
Sustituto de calostro (150 g de IgG)	18,8±0,4 b	5,2±0,2 b	27,0±0,5 a
Calostro materno + suplemento (205 g de IgG)	24,4±0,4 a	6,1±0,3 a	27,5±0,6 a

^{ab} Valores dentro de una misma columna con diferente letra difieren significativamente ($p < 0,05$) / ^{ab} Values within the same column with different letter are significantly different ($p < 0,05$).

PST: proteína sérica total / TSP: total serum protein.

EAA: Eficiencia aparente de absorción determinada de acuerdo a Quigley & Drewry (1998) con un volumen de sangre del 9 % del peso vivo al nacimiento / AEA: apparent absorption efficiency determined according to Quigley & Drewry (1998) with a blood volume of 9 % of body weight at birth.

Cuadro 2. Peso (kg) semanal promedio de veinte terneras de la raza Jersey utilizadas en cada tratamiento con un producto sustitutivo del calostro versus el calostro materno. Cartago, Costa Rica. 2019.

Table 2. Average weekly weight (kg) of twenty Jersey heifer calves used in each treatment with a colostrum replacement product versus maternal colostrum. Cartago, Costa Rica. 2019.

Semana	Tratamiento		
	Calostro materno (225 g de IgG)	Sustituto de calostro (150 g de IgG)	Calostro materno + suplemento (205 g de IgG)
0	23,5	24,4	25,3
1	25,7	25,9	27,6
2	26,3	26,5	28,0
3	28,6	28,0	29,8
4	31,3	31,2	31,9
5	34,0	34,0	34,1
6	36,4	37,6	37,4
7	40,1	41,7	39,5
8	44,5	44,9	42,4
EEM	2,8	2,8	2,8

EEM = error estándar de la media / EEM: mean standard error.

nacimiento o en el promedio de los pesos semanales para las terneras dentro de los diferentes tratamientos. El menor valor de peso al nacimiento fue de 23,5 kg, mientras que el valor más alto a las ocho semanas fue 44,9 kg.

Ganancia diaria de peso

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los diferentes tratamientos para la ganancia diaria de peso. El valor más bajo se presentó en la semana dos para el tratamiento de calostro materno+suplemento y la más alta en la semana siete para el tratamiento de reemplazador de calostro (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ganancia diaria de peso (kg) de las veinte terneras de la raza Jersey dentro de cada tratamiento con un producto sustitutivo del calostro versus el calostro materno. Cartago, Costa Rica. 2019.

Table 3. Daily weight gain (kg) of the twenty Jersey heifer calves for each treatment. Cartago, Costa Rica. 2019.

Semana	Tratamiento*		
	Calostro materno	Sustituto de calostro	Calostro materno+suplemento
0	---	---	---
1	0,43	0,41	0,49
2	0,13	0,08	0,07
3	0,34	0,33	0,30
4	0,38	0,45	0,39
5	0,39	0,40	0,35
6	0,43	0,51	0,47
7	0,52	0,57	0,49
8	0,52	0,46	0,43
EEM	0,09	0,09	0,09

EEM = error estándar de la media / EEM: mean standard error.

* Calostro materno (225 g de IgG); sustituto de calostro (150 g de IgG) y calostro materno+suplemento (205 g de IgG) / * Maternal colostrum (225 g of IgG), Colostrum substitute (150 g of IgG), and Maternal colostrum + supplement (205 g de IgG).

Circunferencia torácica

La circunferencia torácica semanal de los animales para cada tratamiento varió entre 66,5 cm al nacimiento y 80,8 cm a la semana ocho de edad (Cuadro 4), sin diferencias significativas ($p>0,05$) entre tratamientos.

Cuadro 4. Circunferencia torácica (cm) promedio semanal de veinte terneras de la raza Jersey utilizadas dentro de cada tratamiento. Cartago, Costa Rica. 2019.

Table 4. Average weekly heart girth (cm) of twenty Jersey heifer calves used for each treatment. Cartago, Costa Rica. 2019.

Semana	Tratamiento*		
	Calostro materno (225 g de IgG)	Sustituto de calostro (150 g de IgG)	Calostro materno+suplemento (205 g de IgG)
0	66,5	67,2	68,6
1	66,9	68,1	69,6
2	68,1	68,9	69,8
3	69,2	70,5	71,2
4	70,3	72,5	72,6
5	72,1	74,9	74,3
6	73,7	76,1	75,7
7	75,9	78,1	77,0
8	77,9	80,8	78,8
EEM	1,7	1,7	1,7

EEM = error estándar de la media / EEM: mean standard error.

* Calostro materno (225 g de IgG); Sustituto de calostro (150 g de IgG) y Calostro materno+suplemento (205 g de IgG) / * Maternal colostrum (225 g of IgG), Colostrum substitute (150 g of IgG), and Maternal colostrum + supplement (205 g de IgG).

Altura a la cruz

La altura a la cruz más baja se reportó al nacimiento para el tratamiento de reemplazador de calostro y la más alta en la semana ocho para el tratamiento calostro materno + suplemento de calostro, pero sin diferencias significativas ($p>0,05$) entre tratamientos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Altura a la cruz (cm) promedio semanal de veinte terneras de la raza Jersey utilizadas dentro de cada tratamiento. Cartago, Costa Rica. 2019.

Table 5. Weekly average wither height (cm) of twenty Jersey heifer calves used for each treatment. Cartago, Costa Rica. 2019.

Semana	Tratamiento*		
	Calostro materno	Sustituto de calostro	Calostro materno+suplemento
0	66,4	66,3	68,4
1	67,5	67,4	69,4
2	68,5	68,3	70,2
3	69,5	69,4	71,1
4	71,4	71,8	72,0
5	72,0	72,8	72,8
6	72,9	73,2	73,6
7	73,9	74,5	74,7
8	76,3	76,5	76,9
EEM	1,2	1,2	1,2

EEM = error estándar de la media / EEM: mean standard error.

* Calostro materno (225 g de IgG); Sustituto de calostro (150 g de IgG) y Calostro materno+suplemento (205 g de IgG) / * Maternal colostrum (225 g of IgG), Colostrum substitute (150 g of IgG), and Maternal colostrum + supplement (205 g de IgG).

En promedio, las terneras alcanzaron 67,0 cm de altura a la cruz en la semana uno, 71,7 cm para la semana cuatro y 76,6 cm para la semana ocho.

Altura a la cadera

La altura a la cadera semanal promedio de los animales para cada tratamiento desde el nacimiento hasta la semana ocho de edad se muestran en el Cuadro 6. No se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) para las terneras dentro de los diferentes tratamientos.

Parámetros de salud

Algunos animales presentaron problemas de diarreas y afecciones respiratorias; sin embargo, la presencia de estos problemas durante los días de ensayo fueron muy similares entre los diferentes tratamientos. Para el caso de la diarrea, se presentaron cuatro casos en cada uno de los tratamientos (Cuadro 7). Los animales se trataron durante dos días para los grupos de calostro materno y reemplazador de calostro, y tres días para el grupo de calostro materno + suplemento. En el caso de enfermedades respiratorias los casos presentados fueron más bajos, pero los días de tratamiento fueron mayores.

Cuadro 6. Altura a la cadera (cm) promedio semanal de veinte terneras de la raza Jersey utilizadas en cada tratamiento. Cartago, Costa Rica. 2019.

Table 6. Weekly average hip height (cm) of twenty Jersey heifer calves used for each treatment. Cartago, Costa Rica. 2019.

Semana	Tratamiento*		
	Calostro materno	Sustituto de calostro	Calostro materno+suplemento
0	69,2	68,2	71,6
1	70,2	70,0	72,2
2	71,3	70,8	73,0
3	72,8	71,9	74,0
4	74,3	73,5	75,0
5	75,0	75,0	76,1
6	76,2	76,5	77,5
7	77,6	78,4	78,4
8	79,6	79,1	79,4
EEM	1,1	1,1	1,1

EEM = error estándar de la media / EEM: mean standard error.

* Calostro materno (225 g de IgG); Sustituto de calostro (150 g de IgG) y calostro materno+suplemento (205 g de IgG) / * Maternal colostrum (225 g of IgG), Colostrum substitute (150 g of IgG), and Maternal colostrum + supplement (205 g de IgG).

Cuadro 7. Efecto de los tratamientos sobre los casos de diarrea y enfermedades respiratorias presentados por las veinte terneras de la raza Jersey dentro de cada tratamiento. Cartago, Costa Rica. 2019.

Table 7. Treatment effect on diarrhea and respiratory disease cases presented by the twenty Jersey heifer calves within each treatment. Cartago, Costa Rica. 2019.

Tratamiento	Diarrea		Enfermedad respiratoria	
	Casos	Días tratados	Casos	Días tratados
Calostro materno (225 g de IgG)	4	2	3	5
Sustituto de calostro (150 g de IgG)	4	2	2	5
Calostro materno+suplemento (205 g de IgG)	4	3	3	5

Discusión

Una adecuada TIP requiere de una concentración de IgG en suero sanguíneo de al menos 10 g l⁻¹ (Godden, 2008; Nousiainen et al., 1994; Weaver et al., 2000). En este sentido, los animales en los tres tratamientos alcanzaron y sobrepasaron dicha concentración (25,7; 18,8 y 24,4 g dl⁻¹), indicativo de una exitosa TIP; adicionalmente, la concentración de IgG aumentó conforme aumentó la masa de IgG ofrecida a las terneras. Estos resultados eran lo que se esperaba, ya que existe una correlación positiva entre la masa de IgG consumidas y la concentración sanguínea de IgG. Las terneras que consumieron el sustituto de calostro obtuvieron la menor concentración de IgG sanguíneas pero esto se debió a que fueron las que consumieron la menor cantidad de las mismas.

Los valores obtenidos que muestran una adecuada TIP con los tratamientos utilizados, se pueden atribuir a la calidad del sustituto de calostro y al calostro materno, pero también al tomar en consideración la masa de IgG

suministrada, al tiempo transcurrido entre el nacimiento y la toma del calostro y a las medidas higiénicas de la preparación y administración de los diferentes tratamientos.

Cuando se considera la concentración límite de PST establecida por Donovan et al. (1998), todas las terneras presentaron una adecuada TIP, y por lo tanto, se espera que estos animales sean menos propensos a enfermarse, que puedan alcanzar el peso para servicio a una menor edad y que presenten un mayor potencial de producción de leche durante la primera lactancia, si se comparan con animales que presentan una falla en la TIP.

La concentración de PST y la concentración de IgG están positivamente correlacionadas (Weaver et al., 2000), por lo que terneras con mayor concentración de PST se espera que tengan una mayor concentración de IgG, tal como sucedió en el presente ensayo (Cuadro 1). En este estudio se encontró que la concentración de PST fue significativamente ($p < 0,05$) menor para el tratamiento con sustituto de calostro ($5,2 \text{ g dl}^{-1}$), comportamiento similar al encontrado por Priestley et al. (2013), lo cual era de esperar, debido a que la presencia de caseína en el calostro materno contribuye a aumentar las concentraciones de PST (Kehoe et al., 2007).

Otros estudios han reportado mayores y menores concentraciones de PST en terneras alimentadas con similares concentraciones de IgG provenientes de sustitutos de calostro y eso puede deberse principalmente a la composición o a la manufactura de los reemplazadores utilizados (Godden et al., 2009). Por esta razón, se ha indicado que cuando se utilizan reemplazadores de calostro un valor límite de PST de $4,2 \text{ g dl}^{-1}$ sería un mejor predictor de la concentración de $10 \text{ g de IgG l}^{-1}$ en suero a las 24 h (Lago et al., 2018; Quigley et al., 2002). Es importante recordar que la refractometría mide la concentración de PST en lugar de IgG, por lo que la carencia de proteínas que no son inmunoglobulinas en los reemplazadores de calostro afectan las estimaciones (Quigley et al., 2002).

La variación que se ha obtenido en las diferentes investigaciones muestra que el desempeño que se pueda obtener con un sustituto específico no debe ser extrapolado a otros (Godden et al., 2009). Con respecto a la EAA, las terneras que recibieron el reemplazador de calostro consumieron la menor cantidad de IgG en comparación con los otros tratamientos (150 vrs. 225 y 205 g); sin embargo, fue suficiente para alcanzar una concentración de IgG en sangre superior a 10 g l^{-1} y una EAA superior al 25 %, este último valor fue similar al reportado por Foster et al. (2006). Según una recopilación realizada por Quigley & Dewry (1998), los valores de EAA de diferentes estudios variaron entre 8 y 88 %. Se demostró que se puede dar un tope en la EAA cuando se suple una cantidad importante de IgG en un periodo corto (Saldana et al., 2019).

El grupo de terneras que recibió solamente calostro materno presentó una EAA significativamente ($p < 0,05$) menor a los otros dos grupos, en otras palabras, las terneras que recibieron menores cantidades de IgG tuvieron una mayor EAA. Esto ha sido demostrado por Hopkins y Quigley (1997) y Saldana et al. (2019) quienes obtuvieron una mayor EAA cuando a las terneras se les ofreció calostro materno con una menor concentración de IgG. Este fenómeno puede deberse a que el calostro materno tiene una mayor concentración de sólidos, lo que puede influir en la manera en que las moléculas de IgG son absorbidas, debido a una mayor osmolaridad.

La mayoría de investigaciones que tienen que ver con el uso de sustitutos de calostro se centran en la transferencia de inmunidad pasiva, pero no todas evalúan parámetros de crecimiento de los animales. Para este estudio no se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los animales para los diferentes tratamientos con respecto al peso, la ganancia diaria de peso, la circunferencia torácica, la altura a la cruz o la altura a la cadera.

Los pesos de las terneras observados en este estudio fueron inferiores a los reportados por Monge-Rojas & Elizondo-Salazar (2016; 2017), quienes trabajaron con terneras Jersey y reportaron pesos promedio de 27 kg para la semana uno y 53 kg para la semana ocho en el primer estudio, mientras que en el segundo estudio reportaron 28 y 56 kg, respectivamente.

Al considerar la ganancia diaria de peso de los animales a las ocho semanas de edad, los valores obtenidos se encuentran por debajo de los encontrados en otros estudios llevados a cabo en Colombia con 0,690 kg (Yepes & Prieto, 2011), Costa Rica con 0,551 kg en terneras alimentadas con reemplazador lácteo (Monge-Rojas & Elizondo-Salazar, 2016) y México con 0,556 kg para terneras alimentadas con suero de leche de la raza Holstein (Aguilar, 2011).

Sin embargo, se encuentran por encima de los valores reportados en Costa Rica por Vargas-Ramírez & Elizondo-Salazar (2014) quienes obtuvieron ganancias de 0,370 kg para terneras destetadas entre las 11 y 15 semanas de edad.

La altura a la cruz alcanzada a las ocho semanas de edad encontrada en este estudio fue inferior a las medias de 79,9 cm (Monge-Rojas & Elizondo-Salazar, 2016) y de 79,5 cm (Monge-Rojas & Elizondo-Salazar, 2017) reportadas en la literatura.

La altura a la cadera promedio obtenida en los tres tratamientos por las terneras a las ocho semanas de edad fue inferior al valor reportado por Monge-Rojas & Elizondo-Salazar (2016; 2017), quienes a las ocho semanas encontraron medidas promedio de altura a la cadera de 84,0 y 83,6, respectivamente.

Conclusiones

La absorción de IgG y la concentración sanguínea de IgG fue adecuada en todas las terneras que recibieron el calostro materno, el sustituto de calostro y la mezcla de calostro materno + suplemento.

Los animales en los tres tratamientos se comportaron de manera similar con respecto al peso vivo, la ganancia diaria de peso, la circunferencia torácica, la altura a la cruz y la altura a la cadera.

Los animales alimentados con el sustituto de calostro se comportaron de manera similar en términos de salud con respecto a aquellos animales que recibieron calostro materno.

El sustituto de calostro evaluado en este estudio proporcionó una adecuada concentración de IgG en las terneras Jersey evaluadas y puede considerarse como una alternativa viable para cuando no se cuenta con calostro materno o para evitar la transmisión de enfermedades.

Agradecimiento

Los autores desean expresar un sincero agradecimiento a Zinpro Corporation (Eden Prairie, MN) por el financiamiento parcial de la investigación.

Referencias

- Aguilar, A. (2011). *Alimentación de becerros Holstein con suero de leche* (Tesis de Licenciatura, no publicada). Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.
- Aly, S. S., Pithua, P., Champagne, J. D., & Haines D. M. (2013). A randomized controlled trial on preweaning morbidity, growth and mortality in Holstein heifers fed a lacteal-derived colostrum replacer or pooled maternal colostrum. *BMC Veterinary Research*, 9, Article 168. <http://doi.org/10.1186/1746-6148-9-168>
- DeNise, S. K., Robison, J. D., Stott, G. H., & Armstrong, D. V. (1989). Effects of passive immunity on subsequent production in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 72(2), 552–554. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79140-2](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79140-2)
- Donovan, G. A., Dahoo, I. R., Montgomery, D. M., & Bennett, F. L. (1998). Associations between passive immunity and morbidity and mortality in dairy heifers in Florida, USA. *Preventive Veterinary Medicine*, 34(1), 31–46. [http://doi.org/10.1016/S0167-5877\(97\)00060-3](http://doi.org/10.1016/S0167-5877(97)00060-3)
- Elizondo-Salazar, J. A., & Heinrichs, J. (2009). Feeding heat-treated colostrum to neonatal dairy heifers: Effects on growth characteristics and blood parameters. *Journal of Dairy Science*, 92(1), 3265–3273. <http://doi.org/10.3168/jds.2008-1667>

- Fidler, A. P., Alley, M. L., & Smith, G. W. (2011). Serum immunoglobulin G and total protein concentrations in dairy calves fed a colostrum-replacement product. *Journal of Dairy Science*, *94*(7), 3609–3612. <http://doi.org/10.3168/jds.2011-4358>
- Foster, D. M., Smith, G. W., Sanner, T. R., & Busso, G. V. (2006). Serum IgG and total protein concentrations in dairy calves fed two colostrum replacement products. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *229*(8), 1282–1285. <http://doi.org/10.2460/javma.229.8.1282>
- Furman-Fratczak, K. A., Rzasas, A., & Stefaniak, T. (2011). The influence of colostrum immunoglobulin concentration in heifer calves' serum on their health and growth. *Journal of Dairy Science*, *94*(11), 5536–5543. <http://doi.org/10.3168/jds.2010-3253>
- Godden, S. (2008). Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, *24*(1), 19–39. <http://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.10.005>
- Godden, S. M., Haines, D. M., & Hagman, D. (2009). Improving passive transfer of immunoglobulins in calves. I: Dose effect of feeding a commercial colostrum replacer. *Journal of Dairy Science*, *92*(4), 1750–1757. <http://doi.org/10.3168/jds.2008-1846>
- Godden, S. M., Smolenski, D. J., Donahue, M., Oakes, J. M., Bey, R., Wellsa, S., Sreevatsan, S., Stabel, J., & Fetrow, J. (2012). Heat-treated colostrum and reduced morbidity in preweaned dairy calves: Results of a randomized trial and examination of mechanisms of effectiveness. *Journal of Dairy Science*, *95*(7), 4029–4040. <http://doi.org/10.3168/jds.2011-5275>
- Hopkins, B. A., & Quigley, J. D. (1997). Effects of method of colostrum feeding and colostrum supplementation on concentrations of immunoglobulin G in the serum of neonatal calves. *Journal of Dairy Science*, *80*(5), 979–983. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76023-5](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76023-5)
- Instituto Meteorológico Nacional. (2019). *Condiciones actuales del tiempo*. Recuperado el 1 de mayo, 2019, de <https://www.imn.ac.cr/especial/estacionPatio.html>
- Johnson, J., Godden, S., Molitor, T., & Ames, T. (2007). Effects of feeding heat-treated colostrum on passive transfer of immunity and nutritional parameters in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, *90*(11), 5189–5198. <http://doi.org/10.3168/jds.2007-0219>
- Kehoe, S. I., Jayarao, B. M., & Heinrichs, A. J. (2007). A survey of bovine colostrum composition and colostrum management practices on Pennsylvania dairy farms. *Journal of Dairy Science*, *90*(9), 4108–4116. <http://doi.org/10.3168/jds.2007-0040>
- Khan, M. A., Lee, H. J., Lee, W. S., Kim, H. S., Ki, K. S., Hur, T. Y., Suh, G.H., Kang, S. J., & Choi, Y. J. (2007). Structural growth, rumen development, and metabolic and immune responses of Holstein male calves fed milk through step-down and conventional methods. *Journal of Dairy Science*, *90*(7), 3376–3387. <http://doi.org/10.3168/jds.2007-0104>
- Lago, A., Socha, M., Geiger, A., Cook, D., Silva-del-Río, N., Blanc, C., Quesnell, R., & Leonardi, C. (2018). Efficacy of colostrum replacer versus maternal colostrum on immunological status, health, and growth of preweaned dairy calves. *Journal of Dairy Science*, *101*(2), 1344–1354. <http://doi.org/10.3168/jds.2017-13032>
- LeBlanc, S. J., Lissemore, K. D., Kelton, D. F., Duffield, T. F., & Leslie, K. E. (2006). Major advances in disease prevention in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *89*(4), 1267–1279. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72195-6](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72195-6)
- McGuirk, S. M., & Collins, M. (2004). Managing the production, storage, and delivery of colostrum. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, *20*(3), 593–603. <http://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.06.005>

- Monge-Rojas, C. R., & Elizondo-Salazar, J. A. (2016). El consumo de agua y su efecto sobre la ingesta de alimento balanceado y el crecimiento en terneras Jersey. *Nutrición Animal Tropical*, 10(2), 75–90. <http://doi.org/10.15517/nat.v10i2.26731>
- Monge-Rojas, C. R., & Elizondo-Salazar, J. A. (2017). Alojamiento individual o en parejas y su efecto sobre el consumo de alimento balanceado y el crecimiento en terneras Jersey. *Nutrición Animal Tropical*, 11(1), 38-51. <http://doi.org/10.15517/nat.v11i1.29171>
- Nousiainen, J., Korhonen, H., Syvaioja, E. L., Savolainen, S., Saloniemi, H., & Halonen, H. (1994). The effect of colostrum immunoglobulin supplement on the passive immunity, growth and health of neonatal calves. *Agricultural and Food Science*, 3(5), 421–428. <http://doi.org/10.23986/afsci.72710>
- Pithua, P., Godden, S. M., Wells, S. J., & Oakes, M. J. (2009). Efficacy of feeding plasma-derived commercial colostrum replacer for the prevention of transmission of *Mycobacterium avium* subsp paratuberculosis in Holstein calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 234(9), 1167–1176. <http://doi.org/10.2460/javma.234.9.1167>
- Pithua, P., Aly, S. S., Haines, D. M., Champagne, J. D., Middle-ton, J. R. & Poock, S. E. (2013). Efficacy of feeding a lacteal-derived colostrum replacer or pooled maternal colostrum with a low IgG concentration for prevention of failure of passive transfer in dairy calves. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 243(2), 277–282. <http://doi.org/10.2460/javma.243.2.277>
- Priestley, D., Bittar, J. H., Ibarbia, L., Risco, C. A., & Galvão, K. N. (2013). Effect of feeding maternal colostrum or plasma-derived or colostrum-derived colostrum replacer on passive transfer of immunity, health, and performance of preweaning heifer calves. *Journal of Dairy Science*, 96(5), 3247–3256. <http://doi.org/10.3168/jds.2012-6339>
- Quigley, J. D., & Drewry, J. J. (1998). Nutrient and immunity transfer from cow to calf pre- and postcalving. *Journal of Dairy Science*, 81(10), 2779–2790. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75836-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75836-9)
- Quigley, J. D., Kost, C. J., & Wolfe, T. M. (2002). Absorption of protein and IgG in calves fed a colostrum supplement or replacer. *Journal of Dairy Science*, 85(5), 1243–1248. [http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74188-X](http://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74188-X)
- Saldana, D. J., Gelsinger, S. L., Jones, C. M., & Heinrichs, A. J. (2019). Effect of different heating times of high-, medium-, and low-quality colostrum on immunoglobulin G absorption in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 102(3), 2068–2074. <http://doi.org/10.3168/jds.2018-15542>
- Trotz-Williams, L., Leslie, K. E., & Peregrine, A. (2008). Passive immunity in Ontario dairy calves and investigation of its association with calf management practices. *Journal of Dairy Science*, 91(10), 3840–3849. <http://doi.org/10.3168/jds.2007-0898>
- Vargas-Ramírez, A. M., & Elizondo-Salazar, J. A. (2014). Determinación de consumo de alimento balanceado y agua, y medidas de crecimiento en terneras Holstein en una finca lechera comercial. *Nutrición Animal Tropical*, 8(2), 36–50. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/17253>
- Weaver, D. M., Tyler, J. W., Vanmetre, D. C., Hostetler, D. E., & Barrington, G. M. (2000). Passive transfer of colostrum immunoglobulins in calves. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 14(6), 569–577. [http://doi.org/10.1892/0891-6640\(2000\)014<0569:PTOCII>2.3.CO;2](http://doi.org/10.1892/0891-6640(2000)014<0569:PTOCII>2.3.CO;2)
- Yepes M., & Prieto, C. (2011). *Relación de la concentración de proteína sérica, la calidad de calostro y la ganancia de peso en terneros lactantes en hatos de la sabana de Bogotá* (Tesis de Licenciatura, no publicada), Universidad de La Salle.